

人工衛星観測データによる斜面崩壊危険地の推定

福井大学工学部 福井 卓雄

福井大学教育学部 服部 勇

1. はじめに

人工衛星観測では、宇宙空間から地球表面の広域的情報を、系統的かつ継続的に、観測することができる。本研究は、このような広域的情報を用いて、実際には踏査が困難な、山間地における斜面崩壊危険地域を推定しようとするものである。推定の手段としては、ニューラルネットワークを利用した一種の画像処理手法を用いた。この方法により、通常では映像からの視認が困難な斜面崩壊危険地域の推定を可能とした。また、解析の過程を詳細に検討することにより、斜面崩壊危険地域の一般的な特性を得ようとした。このようなデータは、地域の環境保全あるいは将来の地域開発のための基礎データとなるものである。

2. ランドサット衛星観測データ

ランドサット衛星は1972年に1号が打ち上げられてより、継続的に衛星から地球を撮影した多重スペクトル画像を提供してきている。とくに、1982年に打ち上げられた4号からは、より解像度が高く、観測波長帯の強化された、TM（セマティックマップパー）のデータが提供され、利用できる情報の質が向上している。ランドサット衛星の観測データは、(財)リモート・センシング技術センターより、磁気テープまたはフロッピーディスクの形で、ラジオメトリック補正および幾何学歪補正が済まされたものを入手することができる。また最近では、CD-ROMによるデータの供給も始められようとしている。

TMデータは、可視バンド、近赤外バンド、中間赤外バンド、遠赤外バンドを含む、7バンドからなっている[1]。表1に各バンドの波長帯とその特性をまとめている。それぞれのバンドの電磁波は地表物の相違によって異なる反射をするので、画像の各バンドごとの強さを調べて地表物の特性を推定することができる。通常、3つのバンドを選んでそれぞれに色の3原色のどれかを割り当てて画像を作成し、それを観察して広域的な地表の特性をとらえたり、資源を探索するために使われている。また、最近では、上のようにして得られた画像を計算機により処理して必要とする情報を抽出することも行われている。幾何学補正後の分解能は1ピクセルあたり約30mであり、

分解能についてはまだ不足であるが、後に述べるように、豊富なバンドデータを活用すれば、目標とするものを抽出することが可能である。

表1 TMデータの各バンドの周波数帯域と特性

TM バンド	波長	色	特 徴
1	0.45 ~ 0.52 μ m	可視域 青 \Rightarrow 緑	沿岸水の状態 落葉樹と針葉樹の区別 大気情報の提供
2	0.52 ~ 0.60 μ m	可視域 緑	植物の活力度 新設道路や鉄道などの識別
3	0.63 ~ 0.69 μ m	可視域 赤	植物の識別 地表構造物の識別
4	0.76 ~ 0.90 μ m	近赤外線	海域と陸域の区別 植物量の確認
5 7	1.55 ~ 1.75 μ m 2.08 ~ 2.35 μ m	中間赤外線	植物や土壌の水分含有量の推定 雲と雪との判別 小水路の識別
6	10.4 ~ 12.5 μ m	熱赤外線	地表や海面の温度分布の推定

3. ニューラルネットワークによる斜面崩壊危険地の推定手法

3.1 ニューラルネットワーク

衛星観測データは、広域的な情報を捉えるのにはきわめて有効である。また、対象とするものと観測波長帯との対応がよく知られているならば、通常の画像処理の手法あるいは写真観察を用いて対象地域を特定することは容易である。しかしながら、日本における複雑な山地地形の中の、決して連続的に分布しているとは考えられない、崩壊危険地を探索する目的のためには、従来の手法をそのまま適用することは無理であろう。そこで、本研究では、既知の斜面崩壊地のデータを教師データとして用いて、ニューラルネットワークに崩壊危険地の判断をする学習をさせ、衛星データの各ピクセルにおけるバンドデータを入力として、ピクセルごとの崩壊危険度を判定させる手法を試みた。

ニューラルネットワークとは、複数の処理要素（ニューロン）からなる並列分散情報処理システムであって、それらの処理要素は単方向性の信号チャネル（結合）により相互に接続されてネットワークを形成している[2]。生物の神経回路網の数理的なモデルでもある。ニューラルネットワークは、その処理要素・結合・学習の方法などにより多くのモデルが考案されているが、ここでは、応用分野で広く用いられているバックプロパゲーション・ニューラルネットワークを用いることとする。

バックプロパゲーション・ニューラルネットワークの概念図を図1に示す。処理要素(a)は複数の入力に対してそれらの線形結合を作り、その値に対する応答関数の値

を出力する。線形結合の係数を重みと呼ぶ。応答関数には0または1の値を返す階段関数あるいはそれを軟化したシグモイド関数が用いられる。ネットワークは図1(b)のように処理要素からなる層を複数個並べたもので形成される。ただし、信号データは入力層から出力層へ向けて一方向に流れ、逆戻りはない。学習は、既知の入力と出力の組を教師信号として、与えられた入力に対する出力の誤差ができるだけ小さくなるように、各処理要素の重みを選択することにより行われる。このとき、まず、出力誤差を小さくするように出力層ニューロンの重みを調整し、つぎに、一つ手前の中間層の重みを調整するというふうに、信号の流れとは逆向きに重みを調整していくのが、バックプロパゲーション法の特徴である。

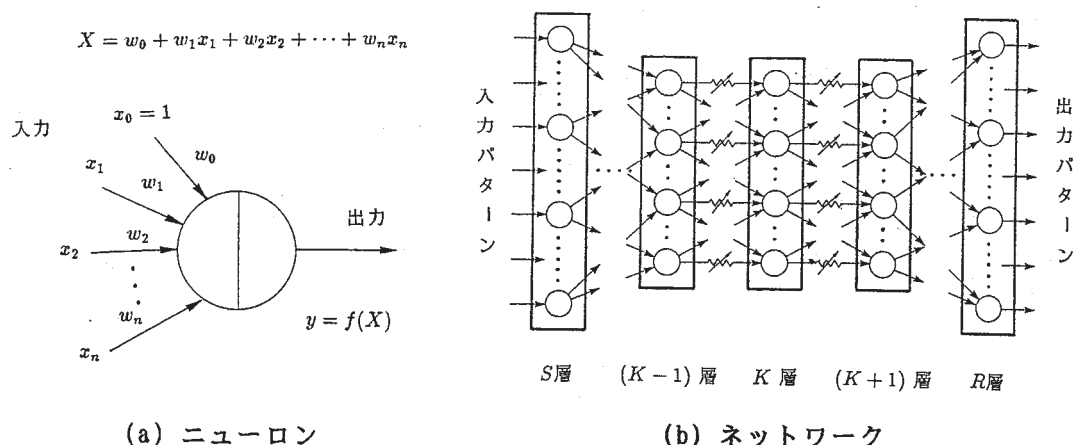


図1 バックプロパゲーション・ニューラルネットワーク

3.2 画像処理の方法

ネットワークとしては、よく用いられている3層のネットワークを用い、ワークステーション上でシミュレートした。入力層は7要素であり、TMデータの各バンドにつき一入力要素とした。中間層と出力層は判別の対象とするものにより要素数をきめて、それぞれに配分した。

ニューラルネットワークによる画像処理はつぎの手順で行った。

- (1) 学習用教師データを採集する。判別の対象となるものが画像から視認によって読み取れる場合には（たとえば、道路・水面・田畑・市街地など）、対応するピクセルの7バンド分のデータを組として教師データとする。斜面崩壊地の場合には、他の方法（後述）により位置を確認し、その座標値（経緯度）からピクセルの位置を割り出して教師データを得た。
- (2) 教師データを用いてバックプロパゲーション法により、ネットワーク上の各ニューロンの重みを決定する。
- (3) 学習の完了したネットワークを用いて、画像上の各ピクセルについて、その点

の属性を判別する．とくに，崩壊危険地については，その点が他の属性（道路・田畑など）をもたないことを確認して最終判別を行った．

入力データとしては，1ピクセル7バンド分のデータの他に，対象とするピクセルを中心とする3×3ピクセル分のデータを使った場合も試みている．現在のところは，1ピクセル分のデータで一応の結果が得られているので，以下では，1ピクセル分のデータを入力データとした結果を示す．

この方法を用いて，TMデータから福井市北部周辺の道路を判別した例を図2に示す．判別結果を2値化した画像であり，黒点が道路と判別されたピクセル，白点がそうでないと判別されたピクセルである．北西隅から画面下部の東西方向に九頭龍川が白く抜けて認められる．北陸自動車道・国道8号線・嶺北縦貫道などの南北方向の主要道および春江飛行場の滑走路が明確に読み取れる．その他の道路については不連続ではあるがおよその輪郭はでている．ピクセルの大きさが約30mであり，中小道路の幅が約7m程度であることを考慮すれば，この結果は手法の適用可能性を十分に支持しているといえよう．ただし，市街地においては，道路と建築物の屋根との区別が十分ではないようであり，手法には改善の余地が残されている．



図2 衛星観測データからの道路網の推定

4. 福井県丹生山地北部の斜面崩壊危険地の推定

4.1 丹生山地北部の地形・地質と斜面崩壊

丹生山地は福井平野西部に位置する低山性の山地で，一般に西に高く，東に低くなっている．起伏も少なく勾配もなだらかで，穏やかな地形であるが，西部には高尾山，金比羅山，国見岳の諸山稜が南北に連なっており，山地西側は急斜面で日本海に接し，

海岸線に沿って海岸段丘が発達している。山地北部を構成するのは国見累層と呼ばれる新第三紀層であり、凝灰岩を主体とした柔らかい地層である。この層はほぼ北東－南西の走向をもち、北に緩く傾く単斜構造をなしている。

著者の一人は、丹生山地北部において、航空写真判読による斜面崩壊調査を行い、斜面崩壊と地形・地質との関連について研究を行った[3-5]。図3は、その調査で得られた崩壊地点を接峰面図の上にプロットしたものである[5]。調査に用いた航空写真は(1)1972年、(2)1985年、(3)1991年のもので、それぞれによる崩壊地点は図中の記号で区別してある。これらの各年代の写真から確認される崩壊地点は、それぞれが混ざり合って存在するのではなく、いくつかのグループがある地帯を順次移動しているように見られる。すなわち、斜面崩壊の起こりやすい地帯が存在し、そこでは崩壊はある周期をもって発生していると考えられる。

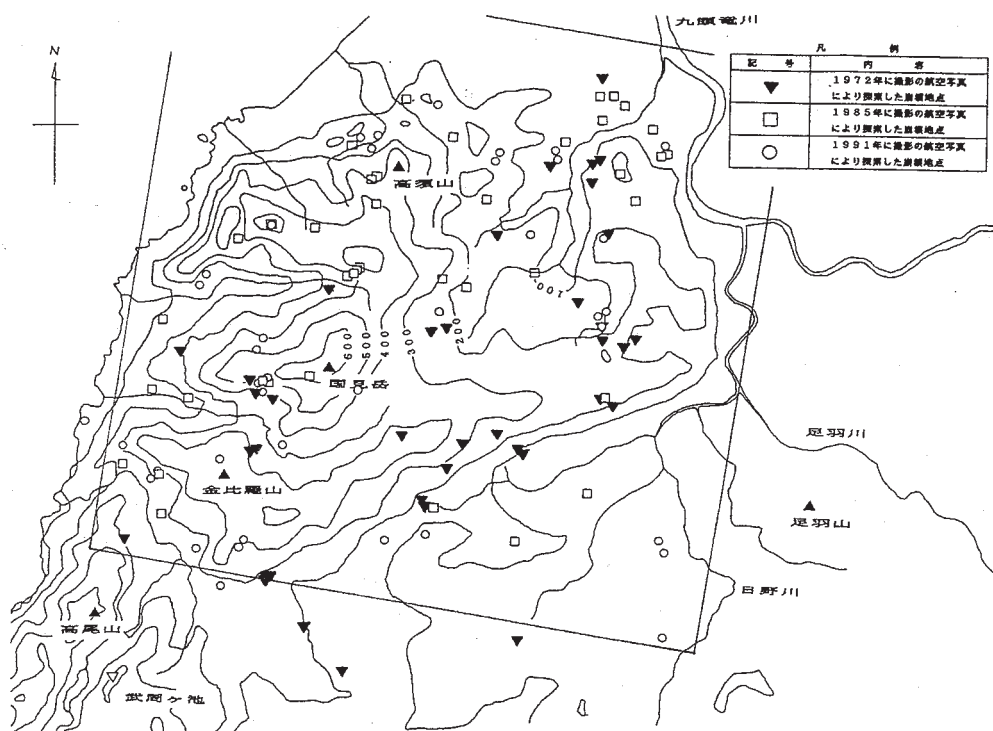


図3 崩壊地点の分布（等高線は接峰面図を表す）[3]

4.2 崩壊危険地の推定

3. に述べた手法を用いて、福井県丹生山地北部における斜面崩壊危険地の推定を行った。このような推定方法によれば、航空写真判読による個々の崩壊地点の調査だけでは得られにくい、斜面崩壊の起こりやすい地帯一帯を推定することが可能であると期待される。

使用した衛星データは、ランドサットTMデータで、1988年4月19日午前撮影さ

れたものである。1ピクセルごとに判別を行ったので、入力層はバンドの個数の7個である。中間層は14要素、出力層は1要素として構成した3層のネットワークを用いて判別を行った。学習用のデータは、図3に示した崩壊地点の内1972年の航空写真から判読された崩壊地点のデータを使った。学習用のデータとしては、これらの崩壊地点のうち諸条件が代表的と思われる、20点のデータを用いた。

本手法を用いて斜面崩壊の危険性が高いと推測された地点を、画像上にプロットしたものを写真1に示す。フォールスカラーの画像の上に崩壊危険地点を白点として重ね合わせた画像を写真にとったものである。写真のカバーしている地域は図3の中に枠で示してある。左上に海岸線が、右側上部と中部に九頭龍川と日野川が認められる。図3と比較すれば、崩壊危険地帯のおおよその位置は判別できる。まず、写真1の白点の分布は図3に示されるすべての崩壊地点をほぼ含んでおり、教師データを採取した1972年以降に発生した崩壊を予測できている。また、写真1の白点の分布の特徴は、図3の接峰面図と比較してみると、比較的標高の低い中腹帯に沿って白点が分布していることである。標高の高いところでは、あまり白点の分布はみられず、原地形の標高が100～300mの領域に白点の分布が集中している。また、細かく観察すると、白点は孤立して分布しているのではなく、頂上部を取り囲むように中腹帯に沿って曲線状に連なっている。



写真1 推定崩壊地点の画像出力

4.3 重みの特性

学習結果によるニューラルネットワークの重みの分布はどのようなになっているのだろうか。また、重みの分布から各バンドの判定への寄与の程度、さらには、崩壊危険地の地質的特徴を推定できないだろうか。こういった観点から、ネットワークの重

みの分布について検討してみた。

図4に重みの分布を図で表現したものを示す。上から、入力層・中間層・出力層を表し、相互の関係を線で結んだ。実線は正の重みを、破線は負の重みを表す。重みの絶対値は線の太さにより表現した。図からは中間層の内5個の素子だけが最終判定に影響をもっているように見える。そこで、該当する5個の中間層素子についての重みの値およびオフセットの値を表2にまとめた。

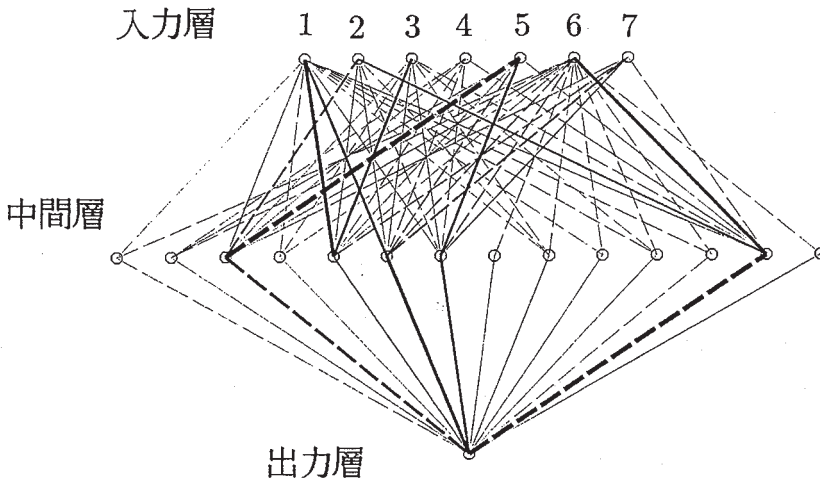


図4 ネットワークの重みの配分

表2 主要中間層に関係する重みおよびオフセットの値

	band1	band2	band3	band4	band5	band6	band7	offset
hid3	4.51	-27.81	7.77	7.66	-51.82	8.36	12.25	3.09
hid5	40.13	12.84	33.07	-11.61	8.53	-13.52	-17.53	-11.27
hid6	30.76	9.25	3.81	-14.57	-16.97	-21.20	-25.32	10.00
hid7	10.09	-4.02	1.87	-6.52	33.52	-18.69	16.82	-3.64
hid13	11.65	23.25	-13.34	3.96	5.37	38.48	-12.77	-31.15
	hid3	hid5	hid6	hid7	hid13	offset		
out	-10.83	5.53	9.93	8.59	-13.77	-7.36		

図4および表2の結果によると、中間層から出力層への重みを考慮すると、バンド5・6の影響がもっとも強く、ついで、バンド1・2・7が判定に寄与している。バンド4はほとんど判定に影響しない。主として、中間赤外線・遠赤外線を用いた判定を行っているようである。これらのバンドは、表1にも示したように、植物の状態あるいは地下水・地表水などの水分の存在を反映する特性をもっている。そこで、重みの正負を考慮し、前節の写真1の白点の分布状況をも考慮すると、かなり思い切った推測ではあるが、写真1の白点の分布（すなわち、崩壊危険地の分布）は地下水の浸

潤帯に一致するのではないかと考えられる。

5. おわりに

ランドサット衛星データを用いて、山間地の斜面崩壊危険地域を推定する手法を提案した。まず、衛星データを用いて福井市周辺の道路網の推定を行い、つぎに、福井県丹生山地北部の斜面崩壊危険地域の推定を行った。ニューラルネットワークの活用により、複雑な地形の中でも、広域的な衛星データを判定の資料として使うことは可能である。また、学習後のネットワークの重みから、崩壊危険地の地形・地質の特性を推定できる可能性もあることが分かった。

ニューラルネットワークを用いた画像処理の手法にはまだ改善の余地があり、現在も種々の手法を用いて検討を繰り返している。しかし、斜面崩壊危険地といったような、写真の視認だけによつては容易に判別不可能な対象に対しては、この方法がきわめて有効な手法となることが期待できると考える。また、手法の実用化のためには、地表における踏査・観測による確実な裏付けが必要ともなろう。

謝辞

本研究にあたり、柏木保宏君（建設工学科1991年卒）、森山陽子さん（環境設計工学科1993年卒）、中岡紀朝君（環境設計工学専攻）らには、ニューラルネットワークによる解析を実行していただいた。また、福井地域環境研究会地盤分科会のメンバーからは、福井県丹生山地北部の斜面崩壊地データをいただいた。記して感謝します。

参考文献

- [1] 宇宙開発事業団地球観測センター編，地球観測データ利用ハンドブッケーランドサット編・改訂版一，リモート・センシング技術センター（1986）。
- [2] R. ヘクト・ニールセン（袋谷賢吉訳），ニューロコンピューティング，トッパン（1992）。
- [3] 地盤分科会（渡辺知幸ほか），丹生山地北部の斜面崩壊，R E F 第10号，45-52，福井地域環境研究会（1990）。
- [4] 地盤分科会（野村吉範ほか），丹生山地北部の斜面崩壊の実態，R E F 第11号，49-56，福井地域環境研究会（1991）。
- [5] 地盤分科会（小嶋直人ほか），丹生山地北部における斜面崩壊に関する研究，R E F 第12号，50-59，福井地域環境研究会（1992）。